

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

2014

Tomi Heinonen

LAITEKOTELON SUUNNITTELU



Tomi Heinonen

LAITEKOTELON SUUNNIITELU

Opinnäytetyö tehtiin Super Green Food Oy:n toimeksiantona. Tehtävänä oli suunnitella ja mallintaa, Solid Works 2013- ohjelmaa käyttäen, uudelle tuotteelle laitekotelo. Kotelo valmistetaan ruiskuvalamalla, koska se on ainoa valmistusmenetelmä jolla on järkevää valmistaa suuria määriä muovituotteita.

Teoriaosuudessa käsitellään tuotekehitysprosessia ja siihen olennaisesti liittyviä teollista muotoilua ja pikamallinnusta. Teollisella muotoilulla lisätään tuotteen kilpailukykyä ulkonäön, käytettävyyden tai valmistettavuuden avulla riippuen siitä, mikä kyseiselle tuotteelle on tärkeää. Pikamallit luodaan tietokoneella tehdyn 3D-mallin pohjalta, ja ne jaetaan käyttötarkoituksen mukaan hahmomalleihin, toiminnallisiin malleihin ja ulkonäkömalleihin. Työssä tutustutaan myös ruiskuvalumenetelmään, ruiskuvalukoneen osiin ja muovituotteen suunnittelun mahdollisuuksiin ja sääntöihin.

Käytännön osuutena suunniteltiin laitekotelo ja luotiin kotelosta 3D-malli. Laitetekelosta tehtiin pikamalli Turun ammattikorkeakoulun 3D-tulostimella. Pikamalli ei ollut mitoitiltaan täysin valmista tuotetta vastaava johtuen 3D-tulostimen liian pienestä tulostusalustasta. Mallikuvien ja pikamallin luominen auttoi selvästi tuotteen suunnittelussa. Ne ovat halpoja ja nopeita tapoja varmistaa, että tuote vastaa vaatimuksia, ennen kuin aletaan kalliiden ruiskuvalumuottien suunnittelu ja valmistus. Suunnitteluun kuului paljon ratkaisujen kehittämistä ja yksityiskohtien hiontaa. Laitetekelön suunnittelussa päästiin hyvään lopputulokseen ja mallinnetusta kotelosta päätettiin tilata pikamallit.

ASIASANAT:

Tuotekehitys, Ruiskuvalu, Pikamalli

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering | Product development

2014 | 35 pages

Paavo Riski

Tomi Heinonen

COVER CASE DESIGNING

The thesis was an assignment of Super Green Food Oy. Assignment was to design and model by using Solid Works 2013- program a cover case for a new product. The case will be manufactured by injection-casting method which is the only manufacturing method reasonable to use when manufacturing large quantities of plastic products.

The theory part discusses product development process and relevant subjects to it which are industrial design and rapid prototyping. Industrial design aims to increase products competitiveness by adding appearance, usability, or producibility depending on what is important to the product. Rapid prototypes are created from 3D-models made with computer and are divided by use to figure models, functional models and appearance models. Study also explores injection-casting method, injection-casting machine and possibilities and laws of plastic product designing.

In the practical part cover case was designed and 3D-models were created. Rapid prototype was manufactured by using Turku University of Applied Sciences owned 3D-printer. Prototype wasn't completely in right measures because of the 3D-printers too small printing platform. Creating models and prototype clearly helped in the designing process. They are fast and cheap ways to make sure that the product matches the requirements before starting to design and manufacturing expensive injection-cast molds. Designing involved a lot of solution development and detail finishing. In the end cover case designing came to a good outcome and it was decided that prototypes would be ordered.

KEYWORDS:

Product development, Injection-casting, Rapid prototyping

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TUOTEKEHITYS	7
2.1 Tuotekehitysprosessi	7
2.2 Teollinen muotoilu	9
2.2.1 Teollisen muotoilun rooli	9
2.2.2 Teollinen muotoilu tuotekehitysprojektissa	9
2.3 Pikamallinnus	10
2.3.1 Pikamallinnusprosessi	10
2.3.2 Pikamallinnuslaitteen toimintaperiaate	10
2.3.3 Pikamallien käyttö	11
2.3.4 Turun AMK:n 3D-tulostin	11
3 RUISKUVALU	13
3.1 Ruiskuvaluprosessi	13
3.1.1 Muotinsulku	14
3.2 Ruiskuvalukone	16
3.2.1 Sulkuyksikkö	16
3.2.2 Ruiskutusyksikkö	18
3.2.3 Käyttöyksikkö	20
3.2.4 Ohjausyksikkö	21
3.3 Ruiskuvalumuotti	22
3.3.1 Muotin tehtävät	22
3.3.2 Muotin toiminnalliset osat	22
4 MUOVITUOTTEEN SUUNNITTELU	25
4.1 Seinämäpaksuus	26
4.2 Päästöt	26
4.3 Rivat	26
4.4 Ruuviliitokset	27
5 LAITEKOTELON SUUNNITTELU	29
5.1 Lähtökohdat ja tavoitteet	29
5.2 Laitekotelon mallinnus	30

5.3 3D-tuloste	32
5.4 Lopputuloksen tarkastelu	32
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri sulkusysteemien edut ja haitat.....	18
Taulukko 2. Ruuviliitosten suunnitteluohjeita eri muoveille	28

KUVAT

Kuva 1. Jaksonaika ja sen muodostavat vaiheet.....	14
Kuva 2. Sulkuyksikön runko.....	17
Kuva 3. Ruiskutusyksikkö.	19
Kuva 4. Esimerkki ohutseinäisestä ratkaisusta.....	25

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tehtävänä on suunnitella kotelo moottorille ja moottorin ohjauslaitteille. Opinnäytetyö tehdään Green Super Food Oy:n toimeksiantona. Kotelo valmistetaan muovista ruiskuvalutekniikalla, mikä tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Tuote on uusi, joten moottorikotelon suunnittelu aloitetaan alusta. Mallinnetusta kotelosta on tarkoitus valmistaa alihankintana pikamalleja, ennen kuin ruiskuvalumuotin suunnittelu aloitetaan.

Työssä tutustutaan tuotekehitykseen, ruiskuvalutekniikan perusteisiin, käydään läpi muovituotetta suunniteltaessa huomioon otettavat asiat ja kerrotaan kotelon suunnittelun kulusta. Uutta tuotetta suunniteltaessa on hyvä tuntee tuotekehitysprosessin vaiheet ja muotoilun merkitys tuotteelle. Prototyyppien valmistaminen on olennainen osa tuotekehitystoimintaa, joten työssä tutustutaan pikamallinnukseen ja pikamallien käyttöön. Myös ruiskuvaluprosessin ja ruiskuvalukoneen tunteminen helpottaa ruiskuvaluttavan tuotteen suunnittelua. Työssä käydään läpi, mitä vaatimuksia ruiskuvalutekniikka asettaa kappaleelle ja miten kappale tulisi suunnitella, jotta nämä vaatimukset täyttyvät ja kappale voidaan valmistaa ruiskuvalamalla.

Työn tavoitteena on mallintaa laitekotelo, joka vastaa annettuja vaatimuksia ja on valmistuskustannuksiltaan mahdollisimman edullinen. Kotelo pyritään suunnittelemaan niin, että ruiskuvalumuottien suunnittelu voidaan aloittaa kotelon kuvien pohjalta tekemättä suuria muutoksia koteloon tai kalliita muottiratkaisuja. Työhön kuuluu paljon mallien tekemistä, ratkaisuvaihtoehtojen suunnittelua ja ratkaisujen arviointia.

2 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys on uuden tai jo olemassa olevan tuotteen kehittämistä, ja se on olennainen osa teollista toimintaa. Tuotekehityksen perusedellytykset ovat aina samat kehitettävästä tuotteesta riippumatta. Tuotteella on oltava olemassa kyllin suuret markkinat ja sen täytyy olla kilpailukykyinen muihin vastaaviin tuotteisiin verrattuna. Tuotteen tulee saavuttaa vaatimukset, jotka yritys ja asiakas ovat sille asettaneet. Hyvä tapa varmistaa, että tuote täyttää asetetut vaatimukset, on rakentaa prototyyppejä ja testata tuotetta tarpeeksi monipuolisesti. Tuotekehityksessä on myös alettu kiinnittämään huomattavasti enemmän huomiota tuotteen ergonomiaan, käytettävyyteen, ulkonäköön ja valmistettavuuteen, joista on tullut teknisten toimintojen rinnalle merkittäviä kilpailutekijöitä. (Välimaa ym. 1994, 7-8.)

2.1 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessi yhdistää yrityksen markkinointi-, valmistus-, tuotekehitys- ja hallintoyksiköt. Tuotekehitystyön onnistuminen vaatii näiden kaikkien yksiköiden osallistumista. Tuotekehityksen lähtökohtana on aina asiakastarve, ja tämä tarve luo ideasta tuotteen tai tuoteparannuksen. Parhaille ideoille suoritetaan esitutkimus, jossa selvitetään tuotteen konsepti, kartoitetaan riskejä ja spesifioidaan tuote. Esitutkimuksella myös selvitetään tuotteen mahdollisuuksia ja kannattavuutta markkinointiyksikköä apuna käyttäen. Jos esitutkimuksen tulos on positiivinen, voidaan aloittaa luonnosteluvaihe, joka tarkoittaa tuotekehitysprojektin käynnistämistä. Luonnosteluvaiheessa luodaan periaateratkaisu, tutkitaan markkinatilannetta lisää, tehdään prototyyppejä ja arvioidaan tehtyjä ratkaisuja. Luonnostelun jälkeen alkaa suunnitteluvaihe, jonka aikana päätetään markkinointisuunnitelma, viimeistellään yksityiskohtia ja aloitetaan työkalu- ja tuotanto-suunnittelu. Viimeinen vaihe on viimeistely ja tuotekehitysprojektin päätös. Tässä vaiheessa käynnistetään myynti, valmistetaan 0- ja 1-sarja, esivalmistellaan tuotanto, aloitetaan koulutus ja suunnitellaan ohjeistus. Jokaisessa vaiheessa

taloushallinto seuraa projektia ja pitää huolta, että projektia on liiketaloudellisesti kannattavaa jatkaa. (Välimaa ym. 1994, 25–31.)

Tuotekehityksen tärkein tehtävä esitutkimusvaiheessa ja koko projektinkin kannalta on toimivan konseptin kehittäminen. Tärkeää on myös tutkia tekniset mahdollisuudet, olennaisimmat kohdat ja varmistaa, että tuotteen jokainen osa-alue tunnetaan, sillä tutkimuksen aloittaminen projektin aikana tulee kalliiksi, kun projektiin on jo sidottu paljon resursseja. Teollinen muotoilija toimii jo tässä vaiheessa tuotekehityksen kanssa ja pyrkii keksimään ratkaisuja, jotka vastaavat asiakastarpeita ja tuovat tuotteelle lisäarvoa. (Välimaa ym. 1994, 28–29.)

Tuotekehitys alkaa suunnitella ratkaisua tuotteen toteuttamiseksi ja määrittää suuntaviivat, joiden mukaan tuotekehitystyö etenee. Syntyneestä ratkaisusta valmistetaan prototyyppi, jota voidaan testata ja testauksesta saatujen tulosten avulla pyritään kehittämään tuotetta. Testit on laadittu ennen prototyyppien valmistamista ja tuotteen on selvittävä niistä. (Välimaa ym. 1994, 29.)

Tuotekehitys jatkaa testauksia ja tekee niiden perusteella tarpeelliset muutokset. Prototyypeilla tehdään testit täysmääräisesti, viimeistellään yksityiskohdat ja dokumentointia päivitetään muutosten mukaan. Tuotekehitys osallistuu myös käyttöohjeiden ja pakkauksen suunnitteluun. (Välimaa ym. 1994, 30.)

Kun tuotekehitysprojehti saavuttaa sille asetetut tavoitteet ja sovitut asiat ovat kunnossa, voidaan projekti päättää ja tuotanto aloittaa. Loppuvaiheessa tuotekehitys antaa vielä teknistä tukea ja toimii kouluttajana, mutta samalla aloittelee jo uutta projektia. (Välimaa ym. 1994, 31.)

2.2 Teollinen muotoilu

Pelkät tekniset ominaisuudet eivät enää anna tuotteelle riittävää kilpailukykyä ja on alettu kiinnittämään huomiota tuotteen käytettävyyteen ja ulkoasuun. Tälle tarpeelle on syntynyt osaamista, jota kutsutaan teolliseksi muotoiluksi. (Välimaa ym. 1994, 67.)

2.2.1 Teollisen muotoilun rooli

Muotoilijalla on eniten vaikutusta tuotteen ulkonäköön, käyttäjäliittymään ja valmistettavuuteen. Teollisen muotoilijan rooli vaihtelee riippuen siitä, kuinka olennaisia tuotteen ulkonäkö ja käytettävyys ovat kilpailutekijöinä. Jos on selvää, että nämä ominaisuudet nostavat tuotteen kilpailukykyä, on tarpeellista panostaa muotoiluun, sillä taloudelliset sijoitukset tullaan saamaan takaisin. Muotoilija pyrkii antamaan tuotteelle ulkoasun, joka kertoo tuotteen ominaisuuksista ja luo käyttäjälle oikeanlaisen kuvan tuotteesta. Esimerkiksi laitteen, jossa on huippumoderni tekniikka, täytyy ulkoasultaan myös näyttää huippumodernilta. Käyttöliittymän suunnittelussa tähdätään siihen, että tuotetta olisi mahdollisimman helppo käyttää. Suunnittelu tulee tehdä yhdessä tekniikasta vastaavien henkilöiden kanssa ja tuotteen suunnittelun tulisi lähteä käyttäjästä ja siitä, mikä on tarve, eikä tekniikan mahdollisuuksista. Muotoilijan tulee aina muistaa tuotteen valmistettavuus ja miettiä, onko muotoilun avulla mahdollista vähentää valmistuskustannuksia. Varsinkin massatuotetuissa tuotteissa kaikki suunnittelu tähtää helppoon valmistettavuuteen ja valmistustekniikkaan. (Välimaa ym. 1994, 69–73.)

2.2.2 Teollinen muotoilu tuotekehitysprojektissa

Muotoilun tulee olla osa tuotekehitysprojektia jo ideointivaiheessa, ja mitä myöhemmin muotoilu otetaan mukaan, sitä vähemmän muotoilija pystyy vaikuttamaan lopputuotteeseen. Tuotekehitysprojektin aikana muotoilija tekee tuottees-

ta esityskuvia ja malleja, jotka ovat apuna markkinoinnille ja tekniikalle. Tavoitteena on myös vakuuttaa päätöksentekijät lopputuotteesta ja havainnollistaa tehtyjä ratkaisuja. (Välimaa ym. 1994, 74–76.)

2.3 Pikamallinnus

Pikamalli luodaan kolmiulotteisen CAD-mallin pohjalta käsin tai käyttämällä pikamallinnuslaitetta. Riippuen siitä, käytetäänkö mallia tuotteen toiminnan, ulkonäön vai kokoonpanon testaukseen, luodaan hahmomalli, toiminnallinen malli tai viimeistelty ulkonäkömalli. Pikamallinnuslaitteet voidaan jakaa myös kolmeen kategoriaan. Teollisuudessa käytettäviin teknisiin pikavalmistuslaitteisiin, toimistoympäristössä käytettäviin 3D-tulostimiin ja Rapid Tooling –laitteisiin, joilla voidaan valmistaa pikatyökaluja. (Taideteollinen korkeakoulu 2014b.)

2.3.1 Pikamallinnusprosessi

Pikamallin pohjana on yleensä tietokoneella tehty kolmiulotteinen CAD-malli. CAD-malli tulee muuttaa STL-tiedostoksi, jota pikamallinnuslaite osaa lukea, mallinnusohjelmissa on yleensä mahdollisuus tiedoston muuttamiseen. Malli asetetaan pikamallinnusohjelmaan niin, että työstö on mahdollisimman edullista ja lopputuloksesta tulee mahdollisimman hyvän laatuinen. Pikamallinnusprosessiin kuuluu myös useasti kappaleen puhdistus. Jos malli tulee esiteltäväksi asiakkaalle tai kuluttajille, viimeistellään kappale vielä hiomalla ja maalaamalla. (Taideteollinen korkeakoulu 2014b.)

2.3.2 Pikamallinnuslaitteen toimintaperiaate

Laitteet voidaan jakaa materiaalin olomuodon ja sen liittämistavan mukaan muutamaan eri tyyppiin:

- laserilla tai UV-valolla nestettä kovettavat
- sulaa materiaalia lisäävät

- jauhetta (muovi, metalli tai kipsi) sitovat
- levyjä lisäävät (tekniikka häviämässä)

Vaikka laitetyyppejä on monia, toimivat ne kuitenkin kaikki samalla periaatteella. Pohjana on rakennus- alusta, jonka päälle lisätään yksikerrallaan ohuita kerroksia 2D-poikkileikkauksia 3D-mallista, jollakin edellä mainitulla tekniikalla. Tätä kerrosten lisäämistä jatketaan ja kolmiulotteinen kappale rakentuu rakennus- alustalle. (C-Advice 2014.)

2.3.3 Pikamallien käyttö

Pikamalli auttaa suunnittelijaa saamaan paremman käsityksen kappaleen mittasuhteista, ominaisuuksista tai ulkonäöstä. Pikamallit voidaankin jakaa käyttötarkoitusten mukaan kolmeen kategoriaan. Hahmomalli on erittäin halpa ja nopeasti tehtävä pikamalli. Hahmomallilla pyritään saamaan parempi käsitys kappaleen ongelmista, jotka eivät tule esiin niin hyvin pelkän kuvan tai näytön välityksellä, ja pystytään hahmottamaan mittasuhteita paremmin. Viimeistely ulkonäkömalleja käytetään tuotteen esittelyyn asiakkaille ja kuluttajatestaukseen. Ne eivät välttämättä ole toiminnallisesti valmiita, mutta ulkonäöllisesti ne voivat olla jopa parempia kuin teollisesti valmistettu lopullinen tuote. Toiminnallisilla malleilla testataan tuotteen toiminnallisia osia, kuten osien yhteen sopivuutta, kiinnitysosien toimivuutta ja tuotteen mekaanisia ominaisuuksia. (Taideteollinen korkeakoulu 2014b.)

2.3.4 Turun AMK:n 3D-tulostin

Turun ammattikorkeakoulu koulu hankki syksyllä 2013 Stratasys-yhtiön valmistaman Mojo 3D-tulostimen. Mojo käyttää FDM-tekniikkaa, joka tarkoittaa, että se lämmittelee muovia lähes sulaan tilaan ja pursottaa sitä kerros kerrokselta. Kerroksen paksuus on 0.178 millimetriä. Tulostin käyttää ABS-muovia rakennusmateriaalina ja tukimateriaalina liimaa. Kappaleen tulostuttua tukiaine pois-

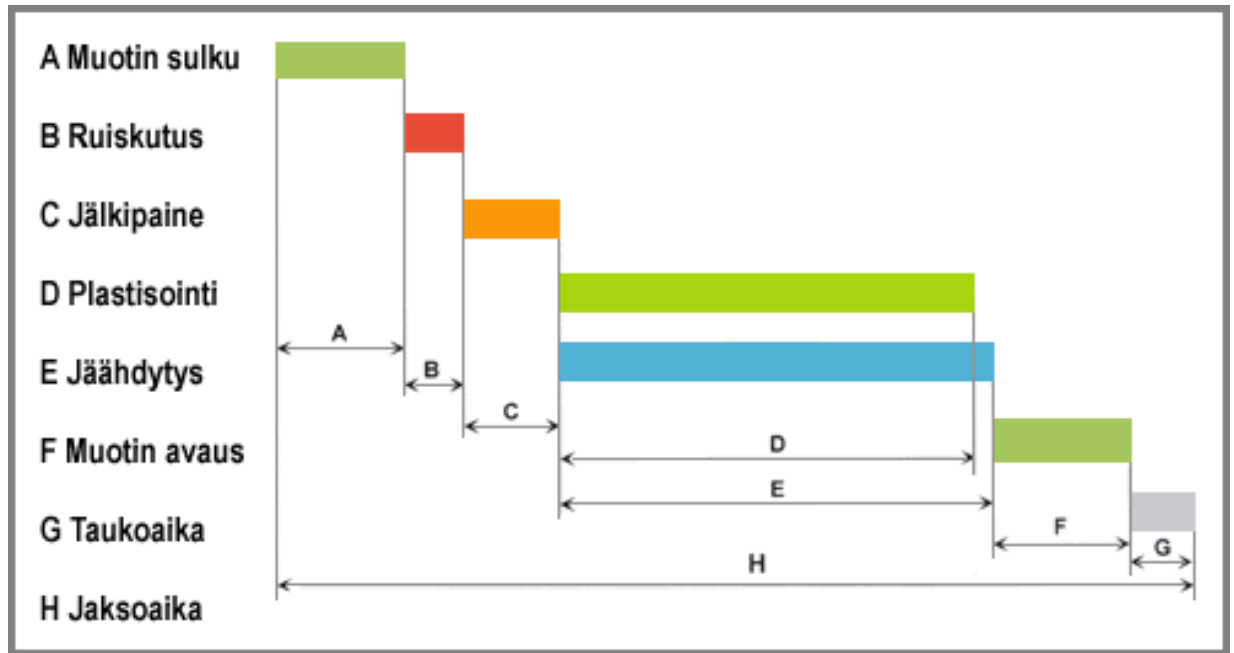
tetaan vesipohjaisella liuottimella. Tulostimella voi valmistaa kappaleen, joka on maksimikooltaan 12,7x12,7x12,7 senttimetriä. Tulostin toimii Print Witch -ohjelmalla, joka osaa lukea STL-tiedosto muotoa. Ohjelmalla voi esikatsella tai skaalata CAD-mallia, asetella malli alustalle eri asennoissa ja esikatsella mallia tulostusalustalla. (Stratasys Ltd. 2014a; 2014b.)

3 RUISKUVALU

Ruiskuvalu on kehitetty kolmiulotteisten muovikappaleiden valmistamiseksi. Prosessissa sula muovimassa syötetään muottiin, joka määrää lopputuotteen muodon. Muotin kalliin valmistushinnan takia ruiskuvalu on kannattavaa, kun tuotantomäärät ovat vähintään 1000 kappaletta, ja se on ainoa varteenotettava muovituotteiden valmistusmenetelmä, kun tuotantomäärät ovat suuria. Hyvä valumuotti on prosessissa erittäin tärkeä, sillä virheitä, jotka tehdään muotin suunnittelussa tai valmistuksessa, ei pystytä enää jälkeenpäin korjaamaan. (Järvelä ym. 1999, 11, 47, 275.)

3.1 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvalujakso jaetaan seitsemään vaiheeseen, jotka yhdessä muodostavat jaksoajan, joka on muottipesällisen valmistusaika. Vaiheet seuraavat toisiaan ja kulkevat myös osittain samanaikaisesti. Vaiheet on esitetty kuvassa 1. (Järvelä ym. 1999, 47.)



Kuva 1. Jaksoaika ja sen muodostavat vaiheet (Järvälä ym. 1999, 47).

3.1.1 Muotinsulku

Muotin sulkee sulkuyksikkö, joka voi olla mekaaninen, hydraulinen tai hydraulis-mekaaninen. Sulkemisliike alkaa nopeasti ja hidastuu loppuvaiheessa muotin jakopintojen ollessa hyvin lähellä toisiaan. Loppuvaiheessa tulee käyttää aina muottisulun varmistuspainetta, jolla varmistetaan, ettei muotille tule vaurioita esimerkiksi edellisen kappaleen osista. (Järvälä ym. 1999, 48, 94.)

Ruiskutus voidaan aloittaa, kun muotti on suljettu ja ruiskutusyksikkö on vasten muotin suutinta. Muovisula ruiskutetaan muottiin niin nopeasti kuin mahdollista, kuitenkin joskus on tarpeen aloittaa hitaammin suihkuamisen estämiseksi. Ruiskutusvaiheen kesto on sekunnin kymmenesosista aina muutamaan sekuntiin ja vaiheen kestoon vaikuttaa kappaleen koko, muoto ja ruiskutettava materiaali. Ruiskutuksen vauhtia hidastetaan loppuvaiheessa, jotta vältetään paineiskulta, kun ruiskutusaine vaihdetaan jälkipaineeseen. Ruiskutusnopeus on optimaalinen silloin, kun ruiskutusaineen tarve on pienemmällä. Etenkin kappale-

leen pinnanlaatu riippuu suuresti ruiskutusnopeudesta. Ruiskutusvaiheessa täytetään noin 95 % muotintilavuudesta. (Järvelä ym. 1999, 48–49.)

Jälkipaineen aikana ruiskutusnopeus eli kierreruuvien liike on hidas. Jälkipaineella täytetään se osa muotista, joka jää täyttämättä ruiskutusvaiheessa, sekä kompensoidaan muovin jähmettymisestä aiheutunutta kutistumista. Jälkipaineella on suuri vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen, sisäisiin jännityksiin ja painoon. Liian lyhyt jälkipaineen vaikutus aiheuttaa pinnoille epätasaisuutta, kuplia ja kieroutumista, joita pyritään välttämään korkealla jälkipaineella ja pitkällä jälkipaineajalla. (Järvelä ym. 1999, 48, 62.)

Tässä vaiheessa uusi annos muovimassaa plastisoidaan eli saatetaan juoksevaan olotilaan. Muovimassaa pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon ja laadultaan tasaista. Plastisointi kestää ideaalisesti melkein yhtä kauan kuin jäähdytysvaihe ja loppuu hieman ennen jäähdytysvaiheen päättymistä. Kappaleen tilavuus on määräävä tekijä plastisointiajan pituudessa, ja tilavuudelta suurilla kappaleilla plastisointi saattaa muodostua jaksonajan määrääväksi ajaksi. Tavallisesti kuitenkin plastisointi pystytään tekemään huomattavasti jäähdytysvaihetta lyhyemmässä ajassa. (Järvelä ym. 1999, 48, 84.)

Jäähdytysvaihe on useimmiten ruiskuvalun jaksonajan pituutta hallitseva vaihe. Jäähdytyksellä pidetään huolta siitä, että ruiskuvalukappale pysyy muotin antamissa muodoissa ja mitoissa. Pitkällä jäähdytysajalla varmistetaan myös, ettei kappaleeseen jää sisäisiä jännityksiä, jotka voivat purkautua, kun muotti ei enää estä muodonvääristymisiä. Ruiskuvaletunkappaleen osien epätasainen jäähtyminen aiheuttaa jäännösjännityksiä, joilla on suuri vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen, lujuuteen ja kemialliseen kestävyYTEEN. Kappaleen uloin kerros jähmettyy nopeasti ja sisemmät kerrokset hitaammin. Kerrokset ovat yhteydessä toisiinsa, joten jähmettymisen aikana voi aiheutua sisäisiä jännityksiä ja kappale

leen kieroutumista. Muotin seinämän lämpötilalla voidaan vaikuttaa kerroksien lämpötilaeroihin. Aikaisella ulostyönnöllä pystytään tasoittamaan kerroksien välisiä lämpötiloja ja näin estää sisäisiä jännityksiä. Liian suuri jälkipaine tai massasulan suihkuaminen vaikuttavat myös jäännösjännityksiin. (Järvelä ym. 1999, 48, 75.)

Kappaleen riittävästi jäähdyttyä voidaan muotti avata ja kappale työntää ulos, joko yhtäaikaisesti avausliikkeen kanssa tai avausliikkeen jälkeen. Ulostyönnön jälkeen voidaan aloittaa uusi ruiskuvalujakso. Jos yksi ulostyöntökerta ei riitä irrottamaan kappaletta, toistetaan ulostyöntö kunnes kappale irtoaa muotista ja uusi ruiskuvalukierto voidaan aloittaa. (Järvelä ym. 1999, 48.)

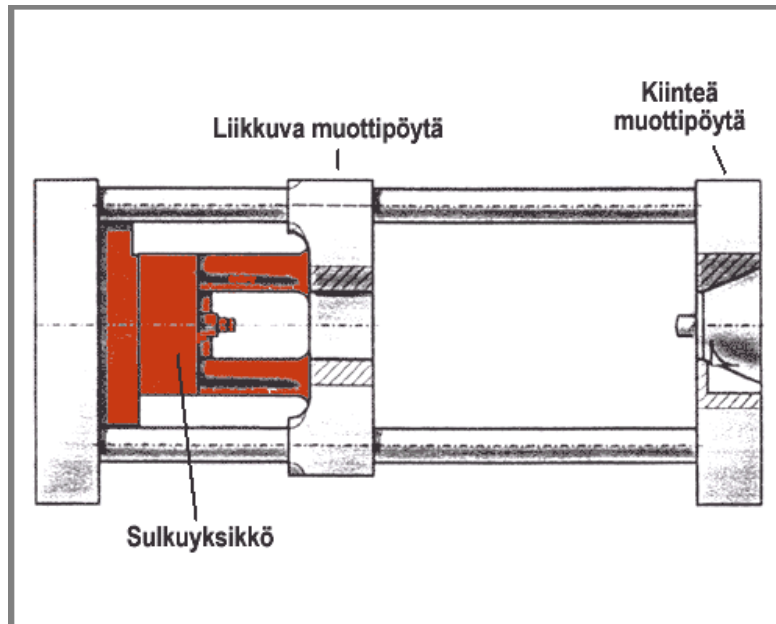
3.2 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukone voidaan jakaa kahteen osaan sen toimintojen perusteella. Sulkukyksikkö hoitaa muottien sulkemisen, avaamisen ja muottien kiinnipitämisen ruiskutuksen aikana. Ruiskutusyksikkö ruiskuttaa muovimassan muottiin ja plastisoi muovimassan seuraavaa ruiskutusta varten. Ruiskuvalukoneet ovat lähes täysin automatisoituja ja niissä on kattavat ohjaus- ja säätömahdollisuudet. Samaa ruiskuvalukonetta on mahdollista käyttää eri muoteilla, kunhan muotin koko ja valettavan kappaleen tilavuus ovat koneelle sopivat. (Järvelä ym. 1999, 92.)

3.2.1 Sulkukyksikkö

Sulkukyksikön täytyy toistuvasti pystyä avaamaan ja sulkemaan muotti, sekä tuottaa tarpeeksi suuri sulkuvoima, jotta muotti pysyy suljettuna ruiskutuksen ja jälkipaineen aikana. Sulkukyksikkö on kooltaan ruiskuvalukoneen suurin osa. Sulkukyksiköt ovat pääosin johteellisia, mutta niiden ongelma on muotin saaminen johteiden väliin. On myös kehitetty johteettomia malleja, jotka ovat kuitenkin jopa 30 % painavampia kuin johteelliset sulkukyksiköt, eivätkä tämän vuoksi ole

vielä syrjäyttäneet suosiossa johteellisia malleja. Kuvassa 2. johteellisen sulkuyksikön runko. (Järvelä ym. 1999, 93–97.)



Kuva 2. Sulkuyksikön runko (Nykänen, S. 2012).

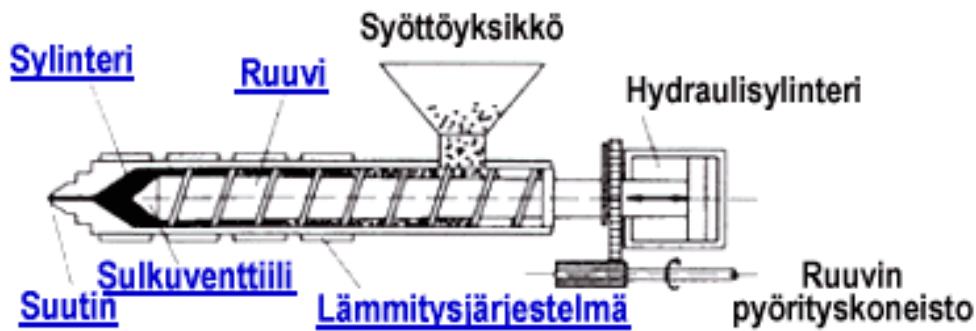
Sulkuliike saadaan aikaan mekaanisesti, hydraulisesti tai hydraulis-mekaanisesti. Kaikilla systeemeillä on hyvät ja huonot puolensa eikä mikään ole selkeästi paras. Taulukossa 1. on esitetty sulkusysteemien vahvuuksia ja heikkouksia toisiinsa verrattuna. Mekaaniset sulkuyksiköt koostuvat erilaisista nivel-tankomekanismeista. Niiden ehdoton etu on nopeus ja sulkua- ja avaamisvoima. Hydrauliset sulkuyksiköt koostuvat suuresta pääsylinteristä ja pienemmästä kuljetussylinteristä. Pääsylinteri aiheuttaa sulkuvoiman ja kuljetussylinterin tehtävä on suorittaa avaamis- ja sulkuliikkeet. Hydraulis-mekaanisissa systeemeissä sulkuliike tapahtuu yhdellä tai useammalla sylinterillä. Sulkuyksikkö lukitaan mekaanisesti, joka muodostaa tarvittavan sulkuvoiman. (Järvelä ym. 1999, 93–97.)

Taulukko 1. Eri sulkusysteemien edut ja haitat (Järvelä ym. 1999, 100).

	Hydraulis-		
	Mekaaniset	Hydrauliset	Mekaaniset
Energian tarve	+	-	+
Turvallisuus	+	+	+
Muottipöytien tuke- vuus	-	+	+
Sulkuvoima	+	+/-	+
Liikkeiden toistetta- vuus	+	-	+
Sulkuvoiman toistetta- vuus	-	+	+
Muotin asetuksen no- peus	-	+	-
Sulkuaika	+	+	+
Avaamisvoima	+	-	-
Jäykkyys	+	-	-

3.2.2 Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikkö on ruiskuvalukoneessa se osa, joka ruiskuttaa muovimassan muottiin. Sen lisäksi ruiskutusyksikkö plastisoi muovimassan ruiskutettavaksi ja muodostaa jälkipaineen kappaleeseen. Ruiskutusyksikön olennaisimmat komponentit ovat syöttösuppilo, sylinteri, kierukkaruuvi, sulkuventtiili, suutin ja lämmitysvastukset, näkyvät alla olevassa kuvassa 3. (Järvelä ym. 1999, 101.)



Kuva 3. Ruiskutusyksikkö (Nykänen, S. 2012).

Syöttösuppilo on yksinkertainen osa, ja sen tulee toimia virheettömästi. Suppilo tulee olla helposti asennettavissa laitteeseen, jotta se on puhdistettavissa sujuvasti ja läpikotaisin. Pulverimaisilla raaka-aineilla on vaarana, että raaka-aine holvautuu ja tukkii syöttöaukot. Tämän estämiseksi suppiloon voidaan lisätä sekoittaja, joka pyörimisellään estää holvautumisen. (Järvelä ym. 1999, 101.)

Ruiskutussyylinterin takaosassa on laakeroitu reikä ruuvin käyttökoneistolle ja sen edessä raaka-aineen syöttöaukko. Etuosassa on suutin, jonka kautta muovisula johdetaan muotin suuttimeen. Olennaista on, että sylinterin sisäpinta on karheampi kuin kierukkaruuvien pinta, jolloin taataan muovisulan kulku sylinterissä. On olemassa myös sylintereitä, joissa on kaasunpoistoaukko. Näitä sylintereitä kutsutaan kaasunpoistosylintereiksi. Niiden tarkoitus on poistaa kosteus kaasunpoistoaukon kautta ennen kuin muovisula ruiskutetaan muottiin. Kaasunpoistosylintereitä käytetään pääasiassa raaka-aineille, jotka muuten vaatisivat kuivaamista. (Järvelä ym. 1999, 102.)

Kierukkaruuvi jaetaan kolmeen vyöhykkeeseen, joiden läpi muovimassa kulkee sylinterin takaa suuttimeen. Ensin syöttövyöhyke puristaa muovimassan tiiviiksi paketiksi ja massa alkaa sulaa jo muutaman kierteen jälkeen. Kompressiovyöhykkeellä muovin kierteen syvyys muuttuu ja muovimassa sulaa osaksi

kierteen tilavuuden pientymisen ja pääosin lisääntyvän sisäisen kitkan vaikutuksesta. Homogointivyyöhykkeellä sulamista tapahtuu lähinnä enää ympäröivän muovimassan lämmön ansiosta, ja tämän vaiheen tehtävä onkin homogenoida muovimassa ja varmistaa eri lisäaineiden tasaisuus. (Järvelä ym. 1999, 85, 103.)

Sulkuventtiili sijaitsee ruuvin kärkiosassa, ja sulkuventtiilin tarkoitus on estää muovisulan virtaaminen ruuvia pitkin takaisinpäin. Sulkuventtiilissä on liikkuvia osia, joten se vaatii hyvää kulumiskestävyyttä. Koska on myös olennaista, ettei muovisula virtaa takaisinpäin, täytyy venttiilin toimia tehokkaasti, ja tämä tarkoittaa alle 5 %:n takaisinvirtausta. PVC-raaka-aineet tekevät poikkeuksen sulkuventtiilin käyttöön, sillä venttiilin käyttö aiheuttaa kitkalämpöä ja PVC on materiaalina arka ylikuumenemiselle. (Järvelä ym. 1999, 104–105.)

Ruiskuvalusylinterin suuttimia on avoimia ja sulkusuuttimia. Avoin suutin on ruiskuvaluprosessin kannalta parempi, mutta avointo suutina on vaikeampi hallita ja niitä käytetään normaalisti yksinkertaisten ja yksipesäisten muottien kanssa. Sulkusuuttimia on jousikäyttöisiä, karakäyttöisiä ja hydraulisesti toimivia. (Järvelä ym. 1999, 105–106.)

Lämmitysvastukset ovat etupäässä sähkö- tai nestelämmitteisiä. Sähkökäyttöisten hyviä puolia ovat kohtuullinen hinta, komponenttien helppo vaihtaminen ja hyvä säädettävyys. Nestelämmitys on merkittävästi kalliimpi, ja sen takia sitä käytetään harvoin. Sen etu on mahdollisuus jäähdyttää sylinteri ja muovimassa hyvinkin nopeasti. (Järvelä ym. 1999, 108.)

3.2.3 Käyttöyksikkö

Ruiskuvalukoneet ovat pääsääntöisesti hydrauliskäyttöisiä, ja hydrauliiikan käyttö ruiskuvalukoneissa on hyvin taloudellista. Hydraulikkaöljyä on helppo siirtää, sillä saadaan korkea energiatiheys, ja se on erittäin vähän kokoonpuristuvaa,

joten sillä päästään hyvään liikkeiden toistotarkkuuteen. Heikkoutena on oman käyttöyksikön tarve ja sähkökäyttöön verrattuna energiahukka on suurempi. Hydraulissysteemiin kuuluu suodatin öljyn puhdistukseen, kaksi hydraulipumpua paineen aikaansaamiseksi, sähkömoottori pumppujen ohjaamiseksi, erilaisia venttiilejä tilavuusvirran ja paineen säätöön ja paineakku suurien liikenopeuksien aikaan saamiseksi. Täyssähköisiä koneita on myös alettu rakentaa, mutta niiden osuus ruiskuvalukoneiden määrässä on häviävän pieni. (Järvelä ym. 1999, 108–111.)

3.2.4 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkö ohjaa ja säätää ruiskuvaluprosessia ja on usein automatisoitu. Ohjausyksikkö ohjaa ja säätää

- sylinterilämpötiloja
- sulan lämpötilaa
- muotin lämpötilaa
- kierukkaruuvien pyörimisnopeutta
- ruiskutuspainetta
- jälkipainetta
- pöydän liikkeitä
- muotin lämpötilaa
- keernatoimintoja. (Järvelä ym. 1999, 111.)

Käytettyjä arvoja voidaan käyttää hyväksi laadun parantamisessa. Tutkimalla millä arvoilla kappaleen valu on parhaiten onnistunut ja käyttää samoja arvoja seuraavien kappaleiden valmistuksessa. (Järvelä ym. 1999, 111.)

3.3 Ruiskuvalumuotti

Pääasiassa muotti koostuu kahdesta osasta, kiinteästä ja liikkuvasta muotinpuolikkaasta. Muottiin kuuluu kuitenkin paljon eri elementtejä, jotka ovat jokaisesta ruiskuvalumuottirakenteesta. Muotit tehdään aina yhtä tiettyä tuotetta varten, ja tästä syystä ne ovat erittäin yksilöllisiä ja kalliita. Tietokoneavusteisella suunnittelulla ja valmistamisella on pystytty lyhentämään muotin valmistusaikaa, mutta muotin hintaa ei ole pystytty laskemaan johtuen yksilöllisestä raaka-ainevalinnasta, suunnittelusta ja työvaltaisesta valmistuksesta, johon yleensä kuuluu myös käsityötä. (Järvelä ym. 1999, 113.)

3.3.1 Muotin tehtävät

Muotinpuolikkaiden tehtävänä on toimia juoksukanavana massasulalle, jotta sula leviää joka puolelle muottiin ja kappale saa halutun muodon. Muotin täytyy kestää suuria paineita syöttökanavissa ja muottipesässä ruiskutuksen ja jälkipaineen aikana. Muotin muiden elementtien tehtäviin kuuluu valmiin kappaleen ulostyöntö, kappaleen jäähdyttämisen ja muotinpuolikkaiden ohjaaminen toisiinsa vasten. (Järvelä ym. 1999, 113.)

3.3.2 Muotin toiminnalliset osat

Muotit koostuvat monista tärkeistä toiminnallisista osista, joita ovat muotin ohjaus, syöttökanava, muottipesä ja ulostyöntömekanismi. Seuraavassa tutustutaan näihin muotin toiminnallisiin osiin. (Järvelä ym. 1999, 120.)

Muottien ohjauksen tärkein tehtävä on keskittää muotinpuolikkaat toisiinsa tarkasti, koska muotinpuolikkaiden pienikin poikkeus samasta linjasta aiheuttaa siirtymän myös kappaleen jakotasoon. Toinen tärkeä tehtävä on kohdistaa muotinsuutin koneensuuttimen kanssa tai suutin saattaa vuotaa ja aiheuttaa epätaisaista kulumista kosketuspinnalle. Yleisimmin käytetään ohjaustappi-

holkkimekanismia, jossa korkea tarkkuus saadaan varmistettua hyvin pienillä tapin ja holkin välyksillä. On myös kehitetty ohjaukartsiosysteemi, joka parantaa loppuohjausta ja sitä tulee käyttää varsinkin suurille muoteille. Ohjaukartsioilla keskittäminen tapahtuu vasta kun muottien pinnat ovat kosketuksissa. (Järvelä ym. 1999, 120–121.)

Syöttökanavien muodolla ja niiden sijainnilla on merkitystä siihen miten massasula virtaa kappaleessa, joka vaikuttaa kappaleen laatuun ja valmistukseen. Massasulan juoksuun vaikuttaa myös raaka-aine, massan- ja muotinlämpötila, seinämänvahvuus, ruiskutusnopeus ja muotinsuutin. Käytetyimpiä syöttökanavia ovat tunnelivalukanavat. Niiden etuja on mahdollisuus laittaa syöttöpaikkaan, jossa se näkyy mahdollisimman vähän, ja kanavan irrottaminen pystytään tekemään automaattisesti. Tasomaisilla kappaleilla käytetään kalvosyöttökanavia, joissa virtaus on samansuuntainen koko kappaleen läpi. Etuna on se, että kutistuma kappaleen pituussuunnassa on yhtäläinen koko kappaleen pituudelta, ja tämän vuoksi muotovirheitä on helpompi hallita. Kalvosyötön huonona puolena on tarve jälkityöstölle, koska kalvokanava on leikattava irti kappaleesta. Paljon käytettyjä syöttökanavia ovat myös kaarevalukanava ja tunnelivalukanava ulostyöntötapissa. Näitä valukanaavia käytetään kun syöttökohta halutaan kappaleen ulostyöntö puolelle. Nämä tekniikat vaativat raaka-aineelta sitkeyttä ja jäykkyyttä, jotta valukanavan ulostyöntö onnistuu, niin ettei kappale vaurioidu. (Järvelä ym. 1999, 122–127.)

Muotinpuolikkaat muodostavat muottipesän. Muottipesän tulee olla siten suunniteltu, että muovisula pystyy leviämään joka puolella muottipesää ja mitoitettu niin, että muottikutistumisen jälkeen kappale on oikeissa mitoissa ja muodossa. Ruiskutuksen aikana muotin sisäinen paine voi olla useita kymmeniä megapascalia, joten muottipesän täytyy olla niin lujaa materiaalia, että se kestää paineen joustamatta. Monesti muoteista tehdään monipesäisiä. Silloin on tärkeää,

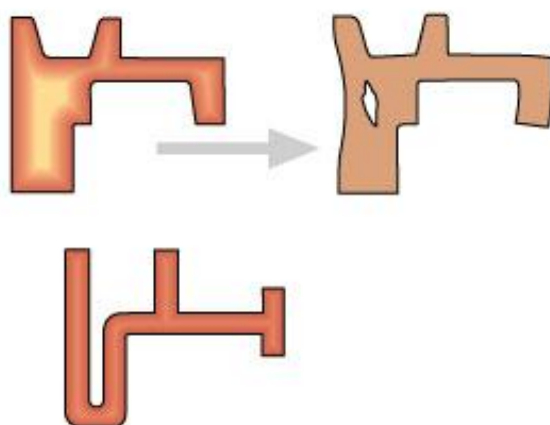
että kaikki muottipesät ovat identtisiä, ja muottipesät tulee sijoittaa symmetrisesti. (Järvelä ym. 1999, 133.)

Ulostyöntö tapahtuu, kun muotti on avattu ja kappale on kiinni liikkuvassa muotinpuolikkaassa, jossa on myös ulostyöntömekanismi. Ulostyönnön kannalta on kappaleessa hyvä olla päästöä aukeamissuuntaan. Myös vastapäästö on mahdollinen muovilajeille joilla on kykyä joustaa. Ulostyöntöpinta-alan tulee olla tarpeeksi iso ja ulostyöntö rasitusten tulee jakautua tasaisesti, jotta kappale pysyy ehjänä, eikä kappaleeseen tule näkyviä jälkiä ulostyönnöstä. Yleisesti ulostyöntöliikkeen ja voiman tuottamiseksi käytetään ruiskuvalukoneen hydraulisylinteriä, ja sen lisäksi usein asennetaan manuaalinen ulostyönnön palautus, jolla voidaan varmistaa tappien liike takaisin kiinni. Ulostyöntö voidaan tehdä tapeilla tai ulostyöntörenkaalla. Ulostyöntö rengas on parempi vaihtoehto kappaleen kannalta, sillä siinä on suurempi ulostyöntöpinta-ala, mutta mekanismi on hankalampi ja kalliimpi. (Järvelä ym. 1999, 146–148.)

4 MUOVITUOTTEEN SUUNNITTELU

Muovi materiaalina ja ruiskuvalu valmistusmenetelmänä antaa monia mahdollisuuksia tuotteen suunnitteluun. Suuret määrät ovat yleensä syy ruiskuvalumenetelmän käyttöön, mutta myös silloin, kun tuotteella on korkeat ulkonäkövaatimukset, tuote on kooltaan pieni tai tuotteen rakenne on monimutkainen. Ruiskuvalettavaa muovituotetta suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava joitakin yksityiskohtia. (Nykänen, S. 2012.)

Muovituotetta suunnitellessa tulee ottaa huomioon muovin jäykkyys ominaisuudet ja ruiskuvaluprosessista johtuvat ilmiöt. Muovikappaleet on suunniteltava kuvan 4 mukaisesti ohutseinäisiksi ja mahdollisimman tasapaksuiksi, jotta ne jäähtyvät tasaisesti ja välttävät muodonmuutoksilta, kuten kieroutumiselta ja kaareutumiselta. Tuotteilta kuitenkin vaaditaan jäykkyyttä, koska muovi ei ole yhtä jäykkää kuin teräs saadaan kappaleeseen lisää rakenteellista jäykkyyttä lisäämällä ripoja ja tekemällä kaarevia pintoja. Kappale on silloin tarpeeksi jäykkä, kun jäähtyminen ei muuta kappaleen rakennetta huomattavasti. (Järvelä ym. 1999, 300–302.)



Kuva 4. Esimerkki ohutseinäisestä ratkaisusta (Taideteollinen korkeakoulu. 2014a).

4.1 Seinämäpaksuus

Kappaleissa seinämäpaksuus voi vaihdella 0,1 mm ja 6 mm:n välillä, kuitenkin yleisimmin käytetään 1-4 mm:n seinämäpaksuutta. Seinämäpaksuus määritetään pääosin kokemuseräisesti tai laskemalla. Kun muovimateriaali ja seinämäpaksuus on päätetty, voidaan laskea virtausmatka, jonka perusteella sijoitetaan syöttöportin paikka. Koska seinämäpaksuuden tulisi olla koko kappaleessa mahdollisimman yhtenäinen, tulee välttää jyrkkiä kulmia, sillä niissä paksumpi kohta jäähtyy hitaammin ja aiheuttaa kulmavirhettä. (Järvelä ym. 1999, 302–303.)

4.2 Päästöt

Muovikappaleisiin tulee lisätä päästöä ulostyöntö suuntaan noin 0,5-1 astetta, jotta kappale irtoaa helposti muotista ulostyönnön aikana. Valittu muovilaji ja kappaleen muoto määrittävät päästökulman. Joskus kappale vaatii muotoja, jotka aiheuttavat vastapäästöjä. Lähtökohtaisesti kappale tulisi suunnitella niin, että vastapäästöjä ei tule, sillä ne nostavat muotin hintaa, huollontarvetta ja monimutkaistavat rakennetta. Tämä johtuu siitä, että muottiin joudutaan tekemään sivusuuntaan liikkuvia osia. Jollain joustavilla muovilajeilla ulostyöntö onnistuu vastapäästöllä muovin jouston ansiosta. (Järvelä ym. 1999, 146, 201, 307.)

4.3 Rivat

Jäykkyyttä lisätään suunnittelemalla ripoja kappaleeseen, sillä jäykkyyttä ei pysty merkittävästi lisäämään seinämäpaksuutta kasvattamalla. Rivat tulee suunnitella avautumissuuntaan, ja rivan paksuus saa olla maksimissaan puolet kappaleen seinämäpaksuudesta. Jos vaaditaan paksumpaa ripaa, tulee vasta pintaan tehdä ura, uritus tai etsaus, jotta vältetään imulta vasta pinnalla. Rivat nos-

tavat muotin hintaa ja pidentävät valmistusaikaa, koska ne tehdään useasti ki-pinätyöstöllä. (Järvelä ym. 1999, 308–311.)

4.4 Ruuviliitokset

Ruuviliitos on hyvä kiinnitystapa, mutta väärin suunniteltu ruuvitorni voi aiheut-taa ongelmia, kuten ruuvitornin murtumisen tai raaka-aine keskittymän, joka pidentää jaksonaikaa ja aiheuttaa imuja vasta pinnalle Ruuvitornin pitää olla tarpeeksi tukeva ja samalla mahdollisimman ohutseinäinen imujen välttämisek-si. Tukevuutta saadaan tukemalla torni rivoilla tai, jos käytetään paksumpaa tornia, voidaan tornin juureen tehdä kevennys. Suuria ruuveja käytettäessä voi-daan reiän sisäpinta urittaa, jolloin ruuvi tekee kierteen uriin ja seinämä pysyy ohuena. Muoviosien kiinnitykseen tulee käyttää kierteen muovaavia ruuveja, jotka tekevät esireikään välyksettömän kierteen. Muoviruuvit ovat geometrial-taan erilaisia kuin tavalliset ruuvit, ja vääränlainen ruuvi aiheuttaa torniin mur-tumia ja jännityksiä. Taulukossa 2 on ruuvitornien suunnitteluohjeita eri muoveil-le. (Järvelä ym. 1999, 315–319.)

Taulukko 2. Ruuviliitosten suunnitteluohjeita eri muoveille (Järvelä ym. 1999, 320).

Materiaali	Sisähalkaisija	Ulkohalkaisija	Kierteen syvyys
ABS	0,80 x d	2,00 x d	2,00 x d
ABS/PCblend	0,80 x d	2,00 x d	2,00 x d
ASA	0,78 x d	2,00 x d	2,00 x d
PA4.6	0,73 x d	1,85 x d	1,80 x d
PA4.6-GF30	0,78 x d	1,85 x d	1,80 x d
PA6	0,75 x d	1,85 x d	1,70 x d
PA6-GF30	0,80 x d	2,00 x d	1,90 x d
PA6.6	0,75 x d	1,85 x d	1,70 x d
PA6.6-GF30	0,82 x d	2,00 x d	1,80 x d
PBT	0,75 x d	1,85 x d	1,70 x d
PBT-GF30	0,80 x d	1,80 x d	1,70 x d
PC	0,85 x d	2,50 x d	2,20 x d
PC-GF30	0,85 x d	2,20 x d	2,00 x d
PE-LD	0,70 x d	2,00 x d	2,00 x d
PE-HD	0,75 x d	1,80 x d	1,80 x d
PET	0,75 x d	1,85 x d	1,70 x d
PET-GF30	0,80 x d	1,80 x d	1,70 x d
PMMA	0,85 x d	2,00 x d	2,00 x d
POM	0,75 x d	1,95 x d	2,00 x d
PP	0,70 x d	2,00 x d	2,00 x d
PP-TF20	0,72 x d	2,00 x d	2,00 x d
PPO	0,85 x d	2,50 x d	2,20 x d
PS	0,80 x d	2,00 x d	2,00 x d
PVC (hard)	0,80 x d	2,00 x d	2,00 x d
SAN	0,77 x d	2,00 x d	1,90 x d

5 LAITEKOTELON SUUNNITTELU

Laitekotelon mallintamiseen käytettiin Solid Works 2013 -ohjelman opiskelijalicenssiä. Tuotteen mallintaminen lähti hahmomallin luomisesta, tässä vaiheessa oli selvää, että laitekotelon valmistetaan ruiskuvalutekniikalla ja tämä tuli ottaa huomioon suunnittelussa alusta alkaen. Vaikka kaikkien laitekotelon sisälle tulevien komponenttien tarkkoja mittoja ei ollut vielä tiedossa, hahmomalli antoi kuvan kotelon rakenteesta ja ulkomuodosta. Hahmomallin pohjalta kotelon ulkonäköä muokattiin ja rakenne sovittiin.

Kun saatiin tietää komponenttien tarkat mitat, voitiin aloittaa yksityiskohtien suunnittelu ja laitekotelon koko pystyttiin määrittämään tarkemmin. Yksityiskohtien suunnittelu aloitettiin luomalla muutama vaihtoehtoinen kotelon ratkaisu, joissa oli esitetty yksityiskohdat ja ongelmakohtiin erilaisia ratkaisuja. Näistä valittiin parhaat ratkaisut ja luotiin malli, jossa oli tarkat yksityiskohdat. Tästä mallista luotiin pikamalli, jonka pohjalta tehtiin vielä muutoksia. Viimeistä mallia varten mallinnettiin kaikki komponentit ja osat, jotka kuuluvat laitekoteloon. Osista ja kotelosta luotiin kokoonpanokuva josta nähtiin, että osat sopivat koteloon.

5.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

Tuote on uusi eli kotelosta ei ollut olemassa mitään mallia. Lähtökohtana kotelon suunnittelulle olivat siis sisälle tulevat komponentit, laitekotelon lujuusvaatimukset ja toiminnalliset vaatimukset. Komponenttien tarkkoja mittoja ei ollut, mutta tiedettiin mitä komponentteja kotelon sisään tulee. Käsitys laitekotelon koosta pystyttiin muodostamaan olemassa olevien komponenttien avulla. Koteloon vaikuttavat maksimivoimat olivat tiedossa, joten kriittisimpien kohtien kes-

tävytyteen voitiin vaikuttaa suunnittelulla jo alusta lähtien. Toimeksiantajalla oli myös muutamia toiveita kotelon ulkonäöstä.

Tavoitteena oli luoda kotelosta 3D-mallit, joiden pohjalta voidaan valmistaa pikamallit. Kotelo valmistetaan ruiskuvalutekniikalla, joten tavoitteena oli myös suunnitella kotelo niin, että ruiskuvalumuottien suunnittelu pystytään tekemään ilman suurempia muutoksia mallinnettuun koteloon. Alusta asti tähtäsin suunnittelussa siihen, että koteloon ei tulisi avaamissuunnan kanssa poikittaisia muotoja tai reikiä. Ne aiheuttavat muottiin liikkuvia osia, jotka taas monimutkaistavat muotin rakennetta ja nostavat muotin hintaa. Toimeksiantajan toiveena oli myös, että muutamat komponentit olisi mahdollista vaihtaa isompiin ilman että koteloa täytyy muuttaa. Kotelon koko ja rakenne tulisi siis suunnitella niin, että komponenttien muuttaminen onnistuu.

5.2 Laitekotelon mallinnus

Suunnittelu aloitettiin hahmottelemalla paperille kotelon ulkonäköä ja muotoja, sekä määriteltiin kotelon suurpiirteinen koko ja hahmoteltiin kotelon rakennetta. Tämän jälkeen suunnittelu siirtyi tietokoneen ruudulle ja kotelon mallintaminen aloitettiin Solid Works 2013 -ohjelmalla. Hahmottelujen perusteella luotiin malli, joka koostui kahdesta osasta, pohjasta ja kannesta. Kotelon sisälle jäävä tila jaettiin poikittain kahteen tilaan väliseinän avulla, joka syntyy kun kappaleet laitetaan yhteen. Osien kiinnittämisestä toisiinsa ei mallinnettu vielä mitään ratkaisua, mutta vaihtoehtoina oli kiinnitys snap- tai ruuviliitoksilla.

Pidimme toimeksiantajan kanssa ensimmäisen välikatsauksen, jossa kaksiosainen rakenne todettiin hyväksi, kotelon muotoa päätettiin muokata kulmikkaammaksi ja päätettiin että kansi ja pohja liitetään toisiinsa ruuveilla. Sain myös kaikkien komponenttien tarkat mitat, joten kotelon koko tarkentui lopullisiin mittoihin. Ruuviliitoksiin päädyttiin, koska todettiin että kannen ja pohjan liitok-

selle tulee huomattavia voimia ja liitosta ei tarvitse avata useaan otteeseen tuotteen elinkaaren aikana. Pohdimme myös ratkaisuja kotelon kiinnitykselle ja komponenttien liittämiseksi koteloon. Ensimmäisen välikatsauksen pohdintojen tuloksena luotiin 3 erilaista koteloa, joissa oli vaihtoehtoiset ratkaisut ruuvitornien sijoittelulle, komponenttien kiinnityksille, väliseinän rakenteelle ja kotelon kiinnitykselle. Lähetin kuvat ratkaisusta toimeksiantajalle ja pohdimme yhdessä mitä ratkaisuja lähdetään viemään eteenpäin.

Kannen ja pohjan kiinnittävien ruuvien ruuvitornit päätettiin sijoittaa salmiakki-muotoon, jolloin ruuvitornien avulla väliseinää saatiin tukevuutta, sillä väliseinään vaikuttaa suurimmat voimat. Kotelon kiinnittävät ruuvit sijoitettiin kotelon kulmiin. Moottori tulee kotelon puoliväliin syvyys suunnassa katsottuna, joten pohjasta tehtiin huomattavasti kantta syvempi, jolloin moottori saadaan kiinnitettyä tukevasti väliseinään. Suunnittelun kannalta yksi suurimmista ongelmista oli moottorilta tulevan akselin toisen päänsä tukeminen. Kotelon rakennetta päätettiin muuttaa ja kanteen tehtiin pieni ”hammas” ja pohjaan vastaavasti samaan kohtaan kolo. Tämä loi kappaleeseen toisen jakopinnan moottorin korkeudelle, ja tämän jakopinnan pintojen väliin akselin toinen pää saatiin kiinni tukevasti.

Kotelon rakenteen ja toimintojen suunnittelu oli jo viimeistelyvaiheessa, joten aloitin yksityiskohtien tarkemman suunnittelun. Lisäsin ripoja tukemaan väliseinää ja ruuvitornien tueksi, sillä näihin kohtiin tulee suurimmat rasitukset. Ripojen paksuus on puolet kappaleen seinämän paksuudesta, jotta vältetään imuilta vastapinnalla. Tein ripojen avulla myös kotelon päähän, johon akselin kiinnitys tulee, akselin laakerille pesän. Laakeri puristuu kannessa ja pohjassa olevien ripojen väliin.

Ruuvitornien mitoituksen apuna käytin Ruuviliitokset luvussa esitettyä taulukkoa 2 (sivu 27). Lisäsin reikiin alkureiät, jotka olivat ruuvien nimellishalkaisijan ko-

koisia, ja niiden tarkoitus on helpottaa ruuvien kiinnittämistä kappaleeseen. Ulkohalkaisija suositeltiin ohjeissa mitoittamaan kaksi kertaa sisähalkaisijan kokoiseksi, mutta koska ruuvitornit on tuettu rivoilla jätin tornit vähän kapeammiksi, jotta kappaleen jäähtymisaikaa saadaan vähennettyä. Kaikki muut paitsi päädyissä olevat ruuvitornien reiät menevät kokonaan läpi, joten ne saadaan tuettua molemmista suunnista.

5.3 3D-tuloste

Päätimme valmistaa Turun ammattikorkeakoulun 3D-tulostimella ulkonäkömallin kappaleesta. Ongelma oli, että kappale ei mahdu tulostimen alustalle, joten kappaletta täytyy hieman lyhentää ja tulostettu kappale ei silloin vastaisi todellista kappaletta. Tuloste kuitenkin tehtiin ja väärästä koosta huolimatta se antoi paremman kuvan itselleni ja toimeksiantajalle. Koteloa päätettiinkin muuttaa hieman pyöreämmäksi ja päätä johon akselin kiinnityspäätä muutettiin, jotta päädyistä päästään poraamaan moottorin kiinnitysreiät jälkityöstönä.

5.4 Lopputuloksen tarkastelu

Kotelon suunnittelu onnistui hyvin, eikä koteloon tullut muotoja tai reikiä, jotka vaatisivat liikkuvia osia ruiskuvalumuottiin. Pikamallin valmistaminen auttoi toimeksiantajaa saamaan paremman kuvan kappaleesta ja näin ollen paransi lopputulosta. Ulkonäöstä tuli miellyttävä, ja kaikki toiminnalliset vaatimukset täyttyivät. Suunnittelun suurimmat haasteet olivat akselin tukemisessa, joka kuitenkin onnistui hyvin. Eteen tuli myös yllättäviä ongelmia, kuten kappaleen kiinnitys, mutta niihin onnistuttiin löytämään nopeasti ratkaisut. Mallinsin koteloon tulevat komponentit ja kiinnitysosat, jotka lisäsin kotelon kokoonpanoon varmistaakseni, että kaikki osat sopivat kotelon kanssa yhteen ja kotelon on fyysisiltä mitoiltaan tarpeeksi iso. Kotelon rakenteesta tuli tarpeeksi kestävä, ripojen ja kaarevien muotojen ansiosta. Kappaleen kestävyys tarkistettiin Solid Works 2013 -ohjelman Solid Works Simulation -lujuudenmittaustyökalulla. Kotelon ruiskuvalu muoteista ja muottien valmistuksesta saatiin hinta-arvio, mutta ennen muottien

suunnittelun aloittamista kotelosta on määrä tilata pikamalleja, joiden avulla varmistetaan kotelon toimivuus ja yhteensopivuus komponenttien kanssa.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella moottorille laitekotelo, joka valmistetaan muovista ja valmistetaan ruiskuvalamalla. Heti projektin alusta alkaen pyrin tekemään mahdollisimman paljon malleja tuotteesta ja tuottamaan mahdollisimman monta erilaista ratkaisua yksityis- ja ongelmakohtiin. Mallien luominen auttoi paremmin hahmottamaan, millainen tuotteesta tulee, ja näkemään jo varhain, missä saattaa tulla eteen ongelmia. Varsinkin kommunikointia toimeksiantajan kanssa helpotti se, että oli paljon malleja omista ideoista ja ratkaisuista. Pikamallin tekeminen oli hyvä päätös, sillä fyysinen malli on aina parempi kuin kuva tai näytön 3D-malli. Tuntui, että toimeksiantajalle pikamallista oli vielä enemmän hyötyä kuin itselleni, sillä etenkin kappaleen ulkomuodosta toimeksiantaja vaikutti saavan paremman käsityksen pikamallin avulla.

Suunnittelun alussa tuli odottamattomia ongelmia johtuen ruiskuvalutekniikan rajoitteista, mutta yhteistyössä toimeksiantajan kanssa ongelmat ratkaistiin. Projektin alussa eteen tuli monia kysymyksiä, joihin itsellä ei ollut heti vastausta, mutta kun tutustui paremmin ruiskuvalutekniikkaan ja ruiskuvalettavan kappaleen suunnitteluohjeisiin, alkoi myös vastauksia löytyä. Työstä teki haasteellista se, ettei toimeksiantajalla ollut osaamista ruiskuvalusta tai muovituotteiden suunnittelusta, joten apua täytyi usein etsiä kirjallisuudesta, jossa asiat eivät aina olleet täysin yksiselitteisiä.

Kotelo vastasi sille annettuja vaatimuksia, joten tavoitteissa onnistuttiin ja kotelosta päätettiin tilata pikamallit. Projektin kulku sujui mallikkaasti ongelmista huolimatta ja palaute toimeksiantajalta oli positiivista. Olen tyytyväinen tuotoksiin ja laitekotelon siirtymisestä eteenpäin testausvaiheeseen. Parempaan lopputulokseen olisi voitu päästä oikean kokoisella pikamallilla, jolloin ulkonäön lisäksi olisi voitu testata myös kotelon toimivuutta aikaisemmassa vaiheessa.

LÄHTEET

Järvelä, P.; Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.

Välimaa, V.; Kankkunen, M.; Lagerroos, O. & Lehtinen, M. 1994. Tuotekehitys. Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Nykänen, S. 2012. Muovituotteen suunnittelun kokonaisprosessi. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 27.1.2014
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf.

Taideteollinen korkeakoulu. 2014a. Muovimuotoilu. Suunnitteluohjeita. Viitattu 21.1.2014. www.muovimuotoilu.fi > Menetelmät > Ruiskuvalu > Suunnitteluohjeita.

Taideteollinen korkeakoulu. 2014b. Muovitekнологia. Pikamallit. Viitattu 13.1.2014.
<http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muovitekнологia/pikamallit/index.html>.

C-Advice. 2006. Mitä on 3D-tulostus. Viitattu 20.1.2014. <http://www.c-advice.com/?q=node/35>.

Stratasys Ltd. 2014a. FDM technology. Viitattu 21.1.2014.
<http://www.stratasys.com/3d-printers/technology/fdm-technology>.

Stratasys Ltd. 2014b. Mojo. Viitattu 21.1.2014. <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/mojo>.